

Anyagmozgató és építőgépek  
konstrukciós fejlesztése kollokvium

---

Kolloquium über konstruktionelle  
Entwicklung von Materialtransport  
und Baumaschinen

\*

---

Budapest, 1984. november 26-28.

# EGYFŐTARTÓS FUTÓDARU OPTIMÁLIS MÉRTEZÉSE SZEMÉLYI SZÁMÍTÓGÉPPEL

Dr. Jármai Károly

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az ismertetett számítógépi algoritmus alkalmas műszaki konstrukciós feladatoknál a különféle feltételeknek eleget tevő szerkezet optimális méretei meghatározására. A COMMODORE 64 számítógépen viszonylag gyorsan elkészíthetők és lefuttathatók ilyen programok. Az egyszekrényes futódaruhídnál kétirányú hajlítást feltételezve ki lehet választani 6 ismeretlen esetén a minimális tömegű tartó méreteit, statikus és fáradási feszültségi feltétel, öv- és gerinclemezhorpadási feltétel teljesülése esetén. 52 -es acél alkalmazása esetén kb. 40 % tömegcsökkenés érhető el a 37 -es acélhoz képest.

OPTIMALBEMESSUNG VON EINTRAGERBRÜCKENKRANEN MIT  
MICROKOMPUTER

VON

DR. KÁROLY JÁRMAI

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MISKOLC UNGARN  
LEHRSTUHL FÜR FÖRDERTECHNIK

ZUSAMMENFASSUNG

Der bekanntgemachte Algorithmus für Rechenmaschine ist bei den technischen Konstruktionsaufgaben für die Bestimmung der optimalen Abmessungen der die verschiedenen Restriktionen befriedigenden Konstruktionen. Die Rechenmaschine COMODORE VC 64 ist bei solchen Aufgaben gut zu verwenden. Bei den auf zweiachsige Biegung beanspruchter Eintragerbrücken kranen können die sechs unbekannten Abmessungen mittels der Bedingungen der statischen Spannung, Ermüdung bzw. der Gurt- und stegblechbeulung bestimmt werden. Wenn ein St 52 verwendet wird, ist die Masse der Kranbrücke etwa um 40 Prozent kleiner als bei St 37.

EGYFŐTARTÓS FUTÓDARU OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSE  
SZEMÉLYI SZÁMITÓGÉPPEL

DR. JÁRMAI KÁROLY

Nehézipari Műszaki Egyetem, Szállítóberendezések Tanszéke  
H-3515 Miskolc-Egyetemváros

1. BEVEZETÉS

Az egyes szerkezetek tervezése során egyre fontosabbá vált napjainkban az optimális méretezés, a minimális tömegű vagy költségű szerkezet kialakításának igénye. A tervezők mindinkább rá vannak szorítva a takarékosagra az anyagnál és a gyártásnál illetve az üzemeltetésnél felhasznált energiánál.

Mivel a szerkezetanalízisnél a feszültségek, alakváltozások, stabilitás illetve más jellemzők az elméleti kutatások és gyakorlati mérések eredményeképpen egyre pontosabban meghatározhatók, ugyanakkor az összefüggések egyre bonyolultabbá is válnak ezért a számtalan matematikai minimáló algoritmusból azok az értékesebbek, amelyek jól alkalmazhatók digitális számítógépeknél [1,2,3] .

2. A SZÁMITÓGÉPI ALGORITMUS

Az ismertetésre kerülő Rosenbrock algoritmus alkalmas arra, hogy nemlineáris többváltozós célfüggvény - pl. tömeg, költség, vagy bármilyen más jellemző, amit a tervező fontosnak tart - minimumát vagy maximumát meghatározza nemlineáris többváltozós méretezési feltételek - pl. feszültségkorlátozási, alakváltozáskorlátozási, stabilitási, rezgéscsillapítási, sajátfrekvenciakorlátozási, méretkorlátozási stb. - esetén. A számítás során a módszer deriváltakat nem használ [4] .

A célfüggvény általános alakja:

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_N)$$

ahol  $N$  a változók (általában geometriai méretek)

száma.

Az  $x_k$  változókra fennálló feltételek általános alakja:

$$G_k \leq x_k \leq H_k \quad k = 1, 2, \dots, N$$

ezek az explicit, azaz méretkorlátozási feltételek, ahol  $G_k$  és  $H_k$  az alsó és felső határok.

A függő változók  $x_{N+1}, \dots, x_M$  (feszültség, alakváltozás stb) a független változók függvényei

$$G_k \leq x_k \leq H_k \quad k = N+1, \dots, M$$

ahol a határok is lehetnek a független változók függvényei. Ha a változó értéke közelít a határokhoz beleesik a határzónába. A határzónákat az algoritmus a következőképpen definiálja: Alsó határzóna:

$$G_k \leq x_k \leq (G_k + (H_k - G_k) \cdot 10^{-4})$$

Felső határzóna:

$$H_k \geq x_k \geq (H_k - (H_k - G_k) \cdot 10^{-4})$$

Az eljárás megköveteli, hogy a kiinduló pont kielégítse a méretezési feltételeket. A program a futás során változtatja a változók értékeit "s<sub>k</sub>" távolsággal. Ha a célfüggvény értéke javult, akkor növeli abban az irányban a lépés nagyságot, ha romlott, akkor pedig ellenkező irányban visszalép. Az aktuális pontban a függvény értéke F. Az összes kiszámított függvényérték közül F<sup>0</sup>-al van jelölve a legmegfelelőbb. F<sup>\*</sup> a függvény értéke, ha változók által kijelölt pont a határzónában van. Ekkor az eljárás módosítja a függvényértékét:

$$F_{uj} = F^0 - (F^0 - F^*) (3\lambda - 4\lambda^2 + 2\lambda^3)$$

ahol

$$\lambda = \frac{\text{távolság a határzónában}}{\text{határzóna szélessége}}$$

$$\lambda = \frac{G_k + (H_k - G_k) \cdot 10^{-4} - x_k}{(H_k - G_k) \cdot 10^{-4}} \quad \text{az alsó határzónában}$$

$$\lambda = \frac{x_k - (H_k - (H_k - G_k) \cdot 10^{-4})}{(H_k - G_k) \cdot 10^{-4}} \quad \text{a felső határzónában}$$

A határzóna szélénél  $\lambda = 1$  és így  $F_{uj} = F^*$ . Az eljárás addig folytatja a szélsőérték keresést, amíg a konvergencia feltétel nem teljesül. Ha a változók által kijelölt minden irányban volt már egy sikeres és egy sikertelen lépés, akkor a módszer a léptetési irányokat a tengely elforgatásával megváltoztatja.

A tengelyek forgatása a következő összefüggés alapján történik:

$$M_{ij}^{(K+1)} = \frac{D_{ij}^{(K)}}{\left[ \sum_{i=1}^N (D_{i,j}^{(K)})^2 \right]^{-1/2}}, \quad \text{ahol} \quad D_{il}^{(K)} = A_{il}^{(K)}$$

$$D_{ij}^{(K)} = A_{ij}^{(K)} - \sum_{i=1}^{j-1} \left[ \sum_{n=1}^j M_{ni}^{(K+1)} A_{nj}^{(K)} M_{il}^{(K+1)} \right]; A_{ij}^{(K)} = d_i^{(K)} M_{il}^{(K)}$$

$$j = 2, \dots, M$$

- ahol
- i - a változók indexe  $i = 1, \dots, N$
  - j - az irányok indexe  $j = 1, \dots, N$
  - d<sub>i</sub> - a tengelyeknek az előző forgatás óta az i-edik irányban történt elmozdulásainak összege
  - K - állapot index
  - M<sub>ij</sub> - irányvektor komponens (normalizálva)
  - D<sub>ij</sub> - régi irányvektorkomponens

Az új irányokban a változók értékeinek módosítását a következő összefüggés írja le.

$$x_{i \text{ új}}^{(K)} = x_{i \text{ régi}}^{(K)} + s_j^{(K)} M_{ij}^{(K)}$$

A program BASIC nyelven íródott, Commodore VC 64 típusú mik-

roszámítógépre. Az eredeti programot kiegészítettük egy programrésszel, amely a kiszámított optimális méretek diszkrétizálását végzi el adott diszkrét értéksorokkal úgy, hogy mind a méretezési feltételek teljesülése, mind a célfüggvény minimuma a továbbiakban is biztosítva legyen [3].

Az adatbevitel során meg kell adni a független változók kezdőértékét és számát, a kezdő lépésméretet, a maximális lépésszámot és a hiba nagyságát a célfüggvényben.

### 3. EGYFŐTARTÓS FUTÓDARU OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSE

#### 3.1. Terhelés és megengedett feszültség meghatározása

A British Standard [5,6] szerint a teherfelvétel számítása zárttéri, szélteher nélküli futódaru esetén

statikus terhelésre:  $\text{önsúly} + \gamma_d P + \text{vízszintes tömegterő}$

fáradásra:  $\text{önsúly} + \gamma_d K_p P + \text{vízszintes tömegterő}$

ahol  $\gamma_d$  dinamikus tényező

$P$  horogteher

$K_p$  spektrum tényező

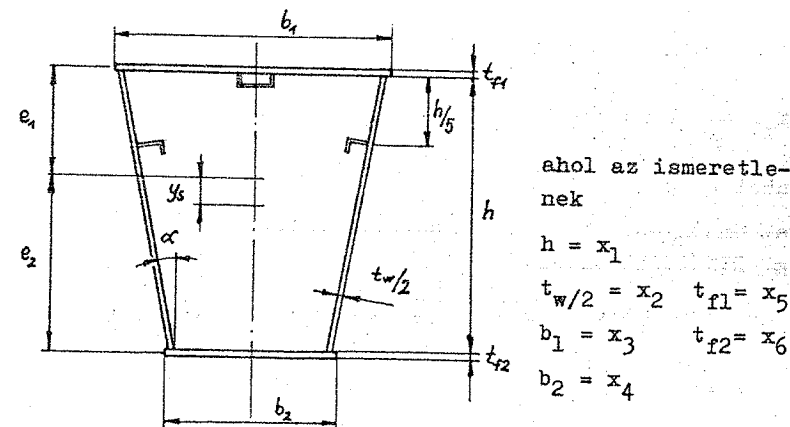
Közepes terhelésű daru esetén: darucsoport A4-A6, ciklusszám  $N = 1 \cdot 10^6$ ,  $K_p = 0,63$ ,  $\gamma_d = 1,3$ , feszültségcsökkentő tényező  $\alpha_d = 0,95$ .

Statikus terhelés	folyáshatár $R_{ad}$	$R_{adm}$ (MPa)
37-es acél grade(43 steel)	$R_y = 230$	136 $R_{adm} = R_{ad} \alpha_d = 129,2$
52-es acél grade(50 steel)	$R_y = 355$	209 198,6

ahol  $R_{ad}$  a csökkentett megengedett feszültség, ha a gerinc-karcsúság nagyobb mint 85.

Fáradás:  $N = 1 \cdot 10^6$ , kategória, fáradási mutatószám  $r = 0,3$ , húzás esetén  $R_{fat} = 182$  MPa, a  $K_p = 0,63$  miatt még 52-es acél esetén sem lesz mértékadó a fáradás.

A szelvény kialakítása: az 1. ábrán látható



1. ábra

#### 3.2. A1 méretezési feltételek felírása:

Inercianyomaték az  $x$  tengelyre:

$$I_x = A_w \frac{h^2}{12} + A_w y_s^2 + A_1 e_1^2 + A_2 e_2^2$$

$$A_w = \frac{h t_w}{\cos \alpha}; \quad A_1 = b_1 t_{f1}; \quad A_2 = b_2 t_{f2}; \quad A = A_w + A_1 + A_2$$

a súlypont helye

$$y_s = \frac{h}{2} \frac{A_1 - A_2}{A}; \quad e_1 = \frac{h}{2} - y_s; \quad e_2 = \frac{h}{2} + y_s$$

a keresztmetszeti tényezők

$$W_{x1} = \frac{I_x}{e_1}; \quad W_{x2} = \frac{I_x}{e_2}; \quad W_{y1} = \frac{2I_y}{b_1}; \quad W_{y2} = \frac{2I_y}{b_2}$$

ahol az  $y$  tengelyre számított inercianyomaték

$$I_y = \frac{b_1^3 t_{f1}}{12} + \frac{b_2^3 t_{f2}}{12} + \frac{b_1^3 - b_2^3}{24} \frac{t_w}{\cos \alpha}$$

A nyomaték meghatározása:

$$M_x = \frac{L^2}{8} (1,05 \rho A + g_{jarda} + g_{sin}) g + M(\gamma_a P + G_{macska})$$

$$\text{ahol } g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

az önsúlyból adódó nyomaték értéke felvehető 300 kg/m-re  
a DIN 15018 szerint

$$M_y = 0,3 \frac{Z_h}{Z} \left( \frac{L^2}{8} \cdot 300 \cdot g + M(G_{macska}) \right)$$

ahol  $Z_h$  a hajtott kerekek száma

$Z$  az összes kerekek száma.

Ezen jellemzők ismeretében a statikus feszültség a tartóközé-  
pen kétirányú hajlítást és csavarást figyelembe véve:

$$\textcircled{1} \quad \frac{M_x}{w_{x1}} + \frac{M_y}{w_{y1}} \leq R_{adm} \quad \text{a felső szélső szálban}$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{M_x}{w_{x2}} + \frac{M_y}{w_{y2}} \leq R_{adm} \quad \text{az alsó szélső szálban}$$

ezek a feszültségkorlátozási feltételek.

A gerinclemez horpadás tartóközépen kétirányú hajli-  
tást, keréknyomást és csavarást figyelembe véve:

Az interakciós képlet:

$$\textcircled{3} \quad \sqrt{m_1 + m_2} + m_b + 3 m_g \leq 1$$

$$\text{ahol } m_1 = \left( \frac{\zeta_1}{R_{adm} K_1} \right)^2; m_2 = \left( \frac{\zeta_2}{R_{adm} K_2} \right)^2; m_b = \left( \frac{\zeta_b}{R_{adm} K_6} \right)^2;$$

$$m_g = \left( \frac{\tau}{R_{adm} K_g} \right)^2$$

$$\zeta_1 = \frac{e_1 - 10}{e_1} \frac{M_x}{w_{x1}} + \frac{M_y}{w_{y1}}; \zeta_b = \frac{M_x}{w_{x1}} \frac{h}{e_1}; \tau = \frac{M_t}{2A_k \frac{t_w}{2}}$$

$$\zeta_2 = \frac{F}{a_1 t_w/2}; a_1 = 50^{mm} + 3(h_{sin} - 5^{mm} + t_{f1})$$

$$\text{Karcsúsági tényező a hajlításhoz: } \lambda_w = \frac{h/5}{t_w/2} \sqrt{\frac{R_{yw}}{355}}$$

$$\text{ha } \lambda_w \leq 24; K_1 = 1 \text{ és } K_b = 1,3 - 0,0019 \lambda_w$$

$$\text{ha } \lambda_w > 24; K_b = 1,3 - 0,0027 \lambda_w$$

$$\text{ha } 24 < \lambda_w \leq 47; K_1 = \left( \frac{24}{\lambda_w} \right)^{0,75}$$

$$\text{ha } 47 < \lambda_w \leq 130; K_1 = \left( \frac{26}{\lambda_w} \right)^{0,85}$$

$$\text{ha } 130 < \lambda_w \leq 300; K_1 = 0,274 - \frac{\lambda_w}{7000}$$

$$\text{Karcsúsági tényező a keréknyomáshoz: } \lambda_e = \frac{h_e}{t_w/2} \sqrt{\frac{R_{yw}}{355}}$$

$$h_e = 1,9 \sqrt{\frac{a_1 h/5}{K_w}}; K_w = \left( 3,4 + \frac{2,2 h/5}{a} \right) \left( 0,4 + \frac{a_1}{2a} \right)$$

ahol  $a'$  a diafragma osztástávolsága  $a = L/10$  vehető.

$$\lambda_e \leq 24; K_2 = 1$$

$$24 < \lambda_e \leq 43; K_2 = \left( \frac{24}{\lambda_e} \right)^{0,5}$$

$$43 < \lambda_e \leq 59; K_2 = \left( \frac{28}{\lambda_e} \right)^{0,68}$$

$$59 < \lambda_e \leq 90; K_2 = \left( \frac{30}{\lambda_e} \right)^{0,75}$$

$$90 < \lambda_e \leq 130; K_2 = \left( \frac{36}{\lambda_e} \right)^{0,9}$$

$$130 < \lambda_e \leq 200; K_2 = 0,38 - \frac{\lambda_e}{2000}$$

Karcsúsági tényező a csavaráshoz:

$$\begin{aligned} \lambda_w &\leq 40 ; K_g = 1 \\ 40 < \lambda_w &\leq 112 ; K_g = 1 - 0,385 \left( \frac{\lambda_w - 40}{60} \right)^{0,743} \\ 112 < \lambda_w &\leq 200 ; K_g = 1 - 0,660 \left( \frac{\lambda_w - 40}{160} \right)^{0,505} \\ 200 < \lambda_w &\leq 300 ; K_g = 0,34 - 0,07 \left( \frac{\lambda_w - 200}{100} \right)^{0,8} \end{aligned}$$

Az övlemezhorpadási feltételnél az interakciós összefüggés:

$$(4) \quad m'_c + m'_g + 3 m'_b \leq 1$$

$$\text{ahol } m'_c = \frac{\zeta'_1}{R_{adm} K'_1} ; m'_b = \left( \frac{\zeta'_b}{R_{adm} K'_b} \right)^2 ; m'_g = \left( \frac{\tau'}{R_{adm} K'_g} \right)^2$$

$$\zeta'_1 = \frac{M_c}{w_{x1}} + 0,5 \frac{M_y}{w_{y1}} ; \zeta'_b = 0,25 \frac{M_y}{w_{y1}} ; \tau' = \frac{M_t}{2A_k t_{f1}}$$

$$\lambda_f = \frac{b_1/2}{t_{f1}} \sqrt{\frac{R_{yf}}{355}} ; K'_b = 1,3 - 0,0027 \lambda_f$$

$K'_g$  számítására ugyanazon képletek érvényesek mint  $K_g$ -ra, csak  $\lambda_f$  karcsúsági tényezővel.

$K'_1$  számítására ugyanazon képletek érvényesek mint  $K_1$ -re, csak  $\lambda_f$  karcsúsági tényezővel.

A számításnál tehát két feszültséghatárkorlátozási, két stabilitási és hat méretkorlátozási feltétel szerepel.

A célfüggvény: tömegminimumra méretezésnél adott hosszúság esetén lehet a keresztmetszetterület:

$$A = A_w + A_1 + A_2 \rightarrow \text{minimum}$$

#### 4. SZÁMPÉLDA

A méretek a következők: névleges terhelés: 20 t, támaszköz  $C = 20$  m, macskatömeg  $G_{macska} = 6,4$  t, daruhíd közelítő tömege 6 t, vízszintes irányban excentricitásra 500 mm-t vettünk fel. Az alkalmazott számítógép COMMODORE VC 64 típusú, mely VIC 1541 mágneslemez - meghajtóval és COMMODORE MPS 801 sornyomtatóval volt kiegészítve. Korábbi műszaki konstrukciós számításaink során úgy találtuk, hogy ez a mikrokomputer-rendszer jól használható nem túl nagyszámú ismeretlen esetén. Gyorsan "belőhető" a programok és a futási idő is jelentősen csökkenthető gépi kódú fordítással (Austro-Compiler). Jelen feladatnál a futásidő BASIC-ben 10-15 perc volt, ami gépi kódú fordítás után harmad-negyed részére csökken a képernyőre való kiíratástól függően.

A futási eredmények a következők:

	37-es	52-es acél
$R_{adm}$	129,2 MPa	198,6
$R_y$	230	355
$h$	940 mm	660
$t_{w/2}$	10	6
$b_1$	560	530
$t_{f1}$	400	450
$b_2$	10	11
$t_{f2}$	5	5
célfüggvény térfogat	26400 mm <sup>3</sup>	16000
feszültségek az alsó/felső szálban	129/92 MPa	198/114
lehajlás	124,6 mm	259

Látható, hogy 52-es acélt alkalmazva 40 %-al csökken a daruhíd tömege. Költségek esetén nincs ilyen mértékű csökke-

nés, mert az 52 -es acél jóval drágább a 37 -esnél, viszont vékonyabb lemezeket alkalmazva csökken a hegesztési költség is.

#### IRODALOM

- [1] Farkas J., Szabó L.: Optimum design of beams and frames of welded I-sections by means of backtrack programming. Acta Techn. Hung. 91/1980/, 121-135.
- [2] Farkas J., Jármai K.: Structural synthesis of sandwich beams with outer layers of box-section, J. Sound and Vibration, 84 /1/, /1982/, 47-56.
- [3] Jármai K.: Optimal design of welded frames by complex programming method. Publ. Techn. Univ. Miskolc, Series C. Machinery, 37 /1982/, 79-95.
- [4] Rosenbrock, H., H.: An automatic method for finding the greatest or least value of a function. Computer Journal, 3 /1960/, 175-184.
- [5] BS 2573: Part 1:1983. Rules for the design of cranes.
- [6] BS 5400: Part 3: Code of practice for design of steel bridges.